

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

FAKULTA STROJNÍ

KATEDRA VÝROBNÍCH STROJŮ A KONSTRUOVÁNÍ

Renovace železničního dvojkolí

Renovation of the Railway Axle

Student:

Aleš Dohnal

Vedoucí bakalářské práce:

Dr. Ing. Jaroslav Melecký

Datum odevzdání:

22.5.2009

Ostrava 2009

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně všech příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

Aleš Dohnal

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

Aleš Dohnal

Anotace bakalářské práce

Dohnal, A. RENOVACE ŽELEZNIČNÍHO DVOJKOLÍ

Ostrava: Katedra výrobních strojů a konstruování VŠB – TU, 2009, 55 s.

Bakalářská práce, vedoucí: Dr. Ing. Jaroslav Melecký

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou renovace součásti navařováním. První část vysvětluje, co renovace znamená a jaký je její postup stejně jako typy opotřebení. Je zde popsán nejpoužívanější způsob renovace - svařování pod tavidlem.

Druhá část zahrnuje výběr přídavného materiálu a defektoskopii železničních dvojkolí. Dále pak popisuje technologický postup navařování součásti.

ANNOTATION OF BACHELOR WORK

Dohnal, A. RENOVATION OF THE RAILWAY AXLE

Ostrava: Department of Production Machines and Design

Technical University of Ostrava, 2009, 55 p.

Bachelor work, head: Dr. Ing. Jaroslav Melecký

This bachelor work deals with renovation problems of welding on components. The first part explains what renovation means and its process as well as types of erosion. It describes the most used way of renovation - a submerged arc welding .

The second part includes a choice of additional materials and flaw detection of railway mounted axles. There is also a technological process of welding on components.

Obsah bakalářské práce

Seznam použitých symbolů a zkratk	2
1 Úvod	3
2 Renovace	7
3 Příčiny opotřebení dvojkolí a jejich měření	10
3.1 Hlavní činitelé opotřebení	11
3.2 Opotřebení jízdní plochy a okolku	12
4 Železniční dvojkolí hutnických vozů v ArcelorMittal Ostrava a.s.	16
4.1 Rozbor možností obnovy tvaru pracovní části dvojkolí	16
4.2 Svařitelnost železničního dvojkolí hutnických vozů	17
4.3 Způsoby navařování	18
5 Navržení renovace železničního dvojkolí hutnických vozů navařováním	19
5.1 Materiál železničních dvojkolí	19
5.2 Současný stav renovace navařováním železničních dvojkolí hutnických vozů v ArcelorMittal Ostrava a.s.	20
5.3 Princip navařování pod tavidlem	23
6 Technologický postup renovace	28
6.1 Stanovení teploty přehřevu	29
6.2 Výpočet náchylnosti oceli k horkým trhlínám	33
6.3 Přídavné materiály používané v ArcelorMittal Ostrava a.s.	34
6.4 Technologický postup navařování v ArcelorMittal Ostrava a.s.	36
7 Defektoskopické kontroly	39
7.1 Vizuální metoda	41
7.2 Penetrační metoda (kapilární)	44
7.3 Metoda magnetická prášková	46
7.4 Ostatní metody	49
8 Závěr	50
9 Použitá literatura	51
10 Seznam příloh	52

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ČSN		Česká státní norma
C_{ekv}		uhlíkový ekvivalent
H.C.S.		parametr náchylnosti oceli k trhlinám
R_e	[MPa]	mez kluzu
R_m	[MPa]	mez pevnosti v tahu
A_5	[%]	tažnost
T_p	[°C]	teplota předehřevu
apod.		a podobně
např.		například
event.		eventuelně
resp.		respektive
atd.		a tak dále
obr.		obrázek
tzv.		tak zvané
tzn.		to znamená
kap.		kapitola
tj.		to jest
č.		číslo

1. ÚVOD

V praxi se často setkáváme s požadavky na opravu svarových spojů nevyhovujících kvalitativním kritériím, opravu dílu nebo poškozených součástí a renovaci dílů opotřeбенých v provozu. Tyto často velmi náročné požadavky lze obvykle splnit aplikací osvědčených metod, tak i nových pokrokových způsobů svařování.

Problematika opravného svařování a renovací je různá, závislá především na druhu a tvaru renovovaného dílu, rozsahu opravy či renovace a zejména materiálu provozních podmínkách dílu. Nezanedbatelným faktorem je technická vybavenost pracoviště, odbornost a zkušenost personálu. [1].

Příčiny poškození :

Poškození je jev spočívající v ukončení schopnosti strojní součásti plnit požadovanou funkci.

Příčiny poškození můžeme rozdělit:

- Koroze
- Opotřebení
 - Adhezivní opotřebení
 - Erozivní opotřebení
 - Abrazivní opotřebení
 - Vibrační opotřebení
 - Únavové opotřebení
 - Kavitační opotřebení
- Stárnutí materiálu
- Únava materiálu

- Tepelná degradace materiálu
- Působení vnějších mechanických sil

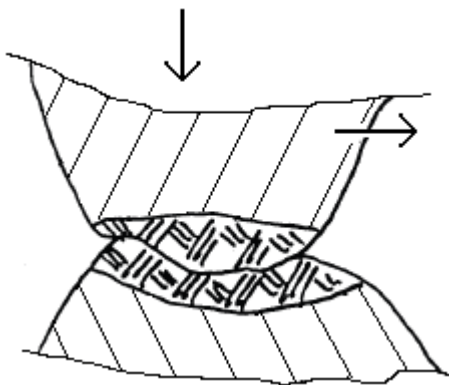
Proces opotřebení ovlivňují:

1. Druh a charakter opotřebováváných a opotřebovajících těles, popř. charakter opotřebovujícího média. (tuhé na tuhé těleso, médium - tuhé, kapalně, plynné).
2. Charakteristiky vzájemného relativního pohybu (kluzný, valivý, ráz, rovnoběžný, kolmý, šikmý).
3. Charakteristiky zatížení (velikost síly, tlak, časový průběh zatížení – statické, dynamické, konstantní, proměnlivé apod.).
4. Charakteristiky prostředí (plynné, kapalně apod.).

Druhy opotřebení:

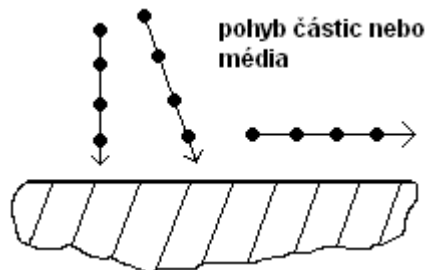
Adhezivní opotřebení – dochází k oddělování materiálu v místech stykové plochy.

Typický projev poškození - jemný adhezivní oděr.



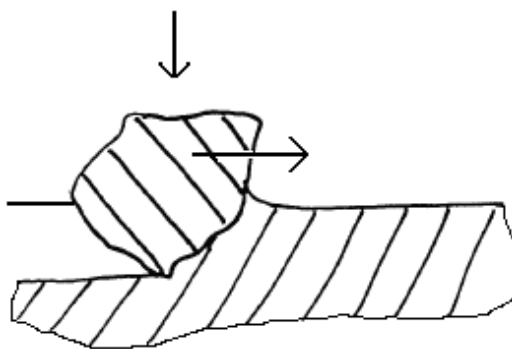
Obr. 1. Adhezivní opotřebení

Erozivní opotřebení – dochází k oddělování částic a poškození funkčního povrchu. A to buď částicemi nesenými proudem kapaliny, plynu a nebo proudem kapaliny, páry, kapek nebo plynu. Porušení materiálu je nerovnoměrné, často výrazně zvlněné.



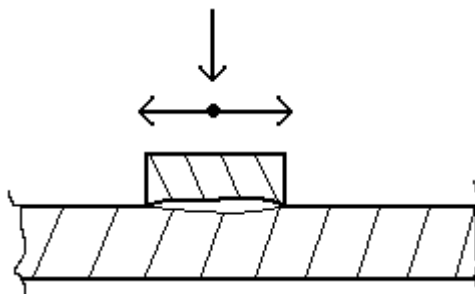
Obr. 2. Erozivní opotřebení

Abrazivní opotřebení – je oddělování částic z funkčního povrchu účinkem tvrdého a drsného povrchu druhého tělesa. Typickým poškozením jsou rýhy.



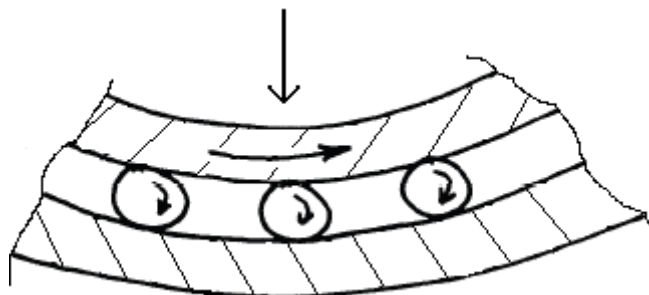
Obr. 3. Abrazivní opotřebení

Vibrační opotřebení – je charakterizováno oddělováním částic a poškozováním povrchů materiálu, které jsou vzájemně přitlačovány normálovým zatížením.



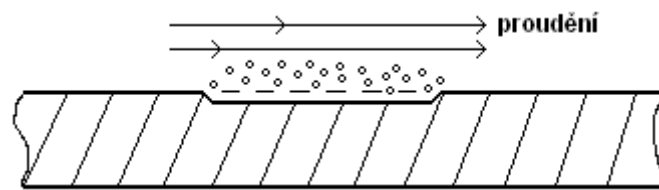
Obr. 4. Vibrační opotřebení

Únavové opotřebení – je oddělování částic a vznik poruch v povrchové podpovrchové vrstvě. Vznikají důlky, proto také někdy označení dolíčkovité opotřebení.



Obr. 5. Únavové opotřebení

Kavitační opotřebení – projevem kavitace dochází k vzniku a zániku dutin v kapalině následkem porušení její kompaktnosti. Kavitace vzniká u hydraulických strojů. Zánik bublin způsobuje hydrodynamické rázy, a tím vytrhávání částic.



Obr. 6. Kavitační opotřebení

V úvodu je zapotřebí také definovat rozdíl mezi opravou a renovací : **Renovace** je obnovení, neboli zlepšení původních užitných vlastností a funkcí nepoškozeného výrobku. **Oprava** je obnovení funkce výrobku poškozeného například havárií, chybou ve výrobě, provozním opotřebením vlivy prostředí, apod.

2. RENOVACE

Pod pojmem renovace se rozumí souhrn technologických operací, kterými se poškozené nebo opotřebované součásti uvedou do provozního stavu.

Při renovaci lze aplikovat jednak osvědčené metody, tak i nové pokrokové způsoby svařování. Nahrazuje se chybějící kov pouze na funkční ploše. Získávají se nejen finanční úspory, ale také úspory materiálu a energie která je potřeba na výrobu nové součástky. Dále často dosáhneme i lepší životnosti renovovaného dílu než u zcela nové součástky, díky nahrazení chybějícího kovu kovem vyšší kvality jako má navařovaný díl a tím se zvýší několikanásobně její životnost.

Ve veškeré výrobní i opravárenské činnosti ve všech oblastech se vyskytuje potřeba oprav a renovací.

Druhy renovace:

- náhodilá – jednorázová
- opakující se – máloseriová
- průmyslová – seriová a velkoseriová

Renovační proces má tři fáze:

1. **přípravná fáze** - výběr součásti určené k renovaci, určení technologie, vypracování dokumentace, příprava součásti (odmaštění, očištění apod.)
2. **renovační fáze** - obnovení opotřebovávaných ploch součástí, pozornost je zde také věnována nových renovačním způsobům, tak aby byly minimalizovány nároky na přípravné a dokončovací operace.
3. **dokončovací fáze** - zajišťuje požadovanou přesnost rozměrů, jakost povrchu apod.

Způsoby renovace mají dvě základní skupiny:

- a) renovace na původní rozměr**
- b) renovace na opravný rozměr**

při výběru metody renovace je třeba brát v úvahu:

- konstrukční a technologické vyhotovení součástky, pracovní podmínky
- druh a velikost opotřeбенé součástky
- ovlivnění geometrického tvaru a kvality povrchu součástí při renovaci
- provozní spolehlivost a životnost součásti
- náklady na renovaci

Jedním z typických náhradních dílů vhodných pro renovaci **navařováním** jsou **železniční dvojkolí**. Vnitrozávodní kolejová doprava je v hutních podnicích pořád dopravou prvořadou, zajišťuje plynulost přísunu, přepravy i odsunu materiálu, polotovarů, surovin i zboží, které podnik produkuje. Proto je zapotřebí věnovat kolejové dopravě maximální pozornost při její činnosti a údržbě.

U navařování železničního dvojkolí na původní rozměr se nahrazuje chybějící kov jen na funkční ploše a navařovaný přídavný materiál má většinou jiné složení než základní materiál. Navařením přídavného materiálu stejného složení bychom nedocílili zlepšení jakosti opotřebovávaných ploch součástí.

Při renovaci navařováním dochází v okolí návaru k tepelnému ovlivnění základního materiálu a vytvářejí se strukturní změny. To se může nepříznivě projevit hlavně u součástí namáhaných dynamicky. Proto při volbě technologie navařování vycházíme z chemického složení a stavu navařované součásti.

Technologie navařování je při renovaci často závislá na kvalifikaci svářeče. Se vzrůstajícím počtem strojů a s růstem složitosti konstrukce strojů vzrůstají také nároky na opravy, především však na pracovníky, kteří tyto opravy provádějí. Soustředěním oprav do odborných středisek a s růstem specializace stoupají požadavky na svářeče, kteří musí ovládat moderní svařovací zařízení, současně se však zvyšuje spolehlivost a kvalita provedených oprav [2].

Další metody renovace:

- 1) Termické nástřiky
- 2) Galvanické pokovování
- 3) Nanášení polyamidů
- 4) Zvláštní způsoby renovace

Termické nástřiky - jde o proces který vylučuje velké tepelné ovlivnění základního materiálu a nanášení je značně rychlejší než u navařování. Nanášené vrstvy jsou tenké oproti navařování.

Galvanické pokovování - nejpoužívanější je tvrdé chromování, ale použití je omezeno náročností zařízení. Začínají se používat také slitinové povlaky a povlaky z Ni.

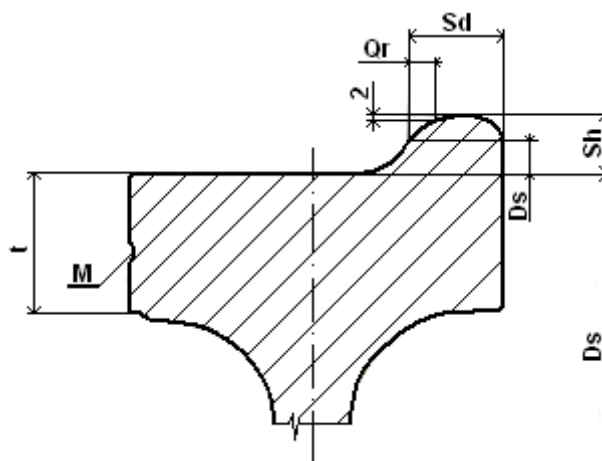
Nanášení polyamidů - jedná se o vysoko produktivní metodu. Renovační proces se pohybuje v teplotách kolem 300°C, v materiálu součásti nastávají podstatné změny. Polyamidy mají dobrou houževnatost, tvrdost a odolnost vůči korozi. Nevýhodou je že tyto součásti se nesmí používat v prostředí kde je teplota nad 100°C

Zvláštní způsoby - patří sem např. transformační zvětšování objemu, nanášení vrstev v peci apod.

3. PŘÍČINY OPOTŘEBENÍ DVOJKOLÍ A JEJICH MĚŘENÍ

Mnoho strojních dílů je během provozu vystaveno opotřebení, jehož podstata je velmi složitá. Je závislá na pracovních podmínkách součástí vystavených opotřebení, kdy na pracovním povrchu probíhá řada fyzikálních a chemických pochodů, jejichž intenzita a účinek závisí na vlastnostech povrchu a podmínkách, za kterých k opotřebení dochází. Měřítkem opotřebení je nejen úbytek materiálu, ale i celková změna jeho jakosti, případně i tvaru funkčního povrchu částí. Opotřebení přináší zpravidla zhoršení funkce součástí a vede k jejímu předčasnému vyřazení nebo k úplnému porušení.

Během provozu dvojkolí nutno provádět měření opotřebení jeho ploch. Na obr. 7. jsou uvedena místa, která je nutno proměřovat na profilu obruče nebo celistvého kola [3].



Obr. 7. Měření veličiny na profilu dvojkolí

S_h – výška okolku, q_r – strmost okolku, t – tloušťka věnce celistvého kola nebo obruče měřená na styčné kružnici, M – mezní drážka provozního opotřebení, D_s – průměr styčné kružnice, τ – rovina styčné kružnice, S_d – tloušťka okolku

3.1 Hlavní činitelé opotřebení

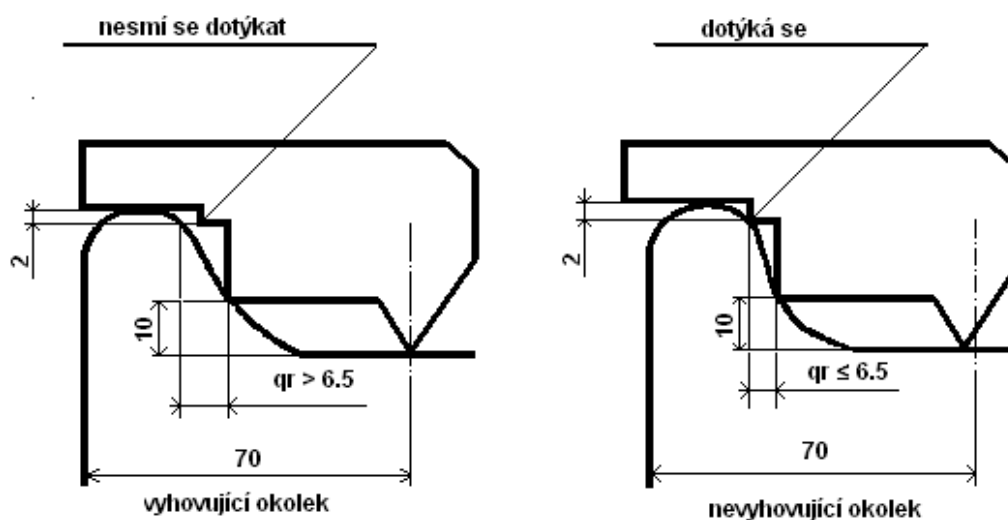
Hlavní činitelé jsou zejména:

Mikroplastická deformace – vyvolaná zatlačováním tvrdých částic do povrchu kovů a únavou povrchových vrstev při opakovaných rázových namáháních. Tyto jevy vedou ke vzniku trhlinek a k vylamování částic kovů z povrchu.

Oxidace kovů – která je podporována jak plastickou deformací, tak zvýšením teploty v místech dotyku.

Hodnoty dovoleného opotřebení jsou:

- opotřebení na jízdní ploše do hloubky, měřené na styčné kružnici, nesmí být větší jak 7 mm, výška okolku S_h nesmí však být větší než 36 mm
- tloušťka okolku S_d nesmí být menší než 20 mm, připouští se jednostranné stranové opotřebení jednoho okolku do 11 mm, ale součet opotřebení obou okolů jednoho dvojkolí nesmí být větší než 16 mm
- ostrá hrana na vnější vodící ploše okolku, měřená měrkou q_R se určuje dle obr. 8.
- tloušťka t obruče nebo celistvého kola měřená na styčné kružnici nesmí být menší než:
 - u obručového kola, 30 mm
 - u celistvého kola, 25 mm



Obr. 8. Měření opotřebení okolku měrkou q_R

3.2 Opotřebení jízdní plochy a okolku

Opotřebení jízdní plochy nebo okolku bývá dvojího druhu a to:

- **Rovnoměrné**
- **Nerovnoměrné**

Nerovnoměrné opotřebení vzniká většinou působením lidského faktoru. Ve většině případů by se mu dalo ale předejít.

Mezi nerovnoměrné opotřebení patří:

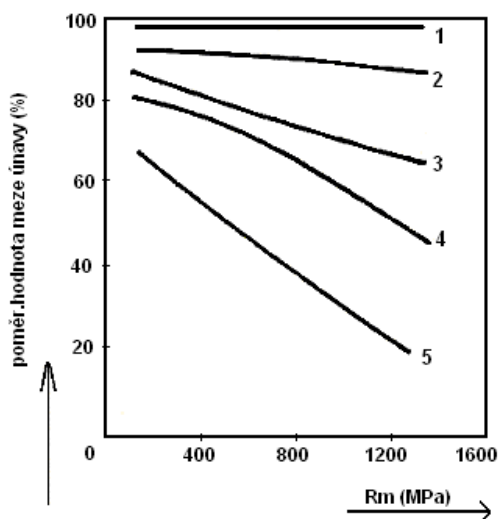
- a) rovné plochy na jízdní ploše, vzniklé např. zablokováním dvojkolí a jeho smýkáním po kolejnici. Rovná plocha na jízdní ploše způsobuje nerovnoměrnost chodu dvojkolí a hlučnost.
- b) rýhy na jízdní ploše nebo okolku o hloubce větší než 3 mm, jejichž příčinou může být např. vykolejení vozu, tvrdý odpadový materiál na kolejišti apod.
- c) nastavení nebo odtavení části jízdní plochy nebo okolku vlivem zalití podvozku surovým železem.
- d) Nánosy materiálu na jízdní ploše vyšší než 2 mm.

Faktory ovlivňující rovnoměrné opotřebení

Vyskytuje se u všech dvojkolí. Dochází při něm k tvarové změně pracovní vrstvy dvojkolí a to odtrhávání mikroskopických částecek v důsledku otěru, který je způsoben prokluzem mezi pojezdovou plochou a kolejnicí a okolkem a kolejnicí. Dále vydrolováním větších částic místech povrchových prasklin. Tato skutečnost vede ke zdrsnění povrchu a za poměrně krátkou dobu k jeho určitému maximálnímu zhrubnutí. Otěrem ubývá pracovní vrstva, a to tím více, čím více jsou tlaky na pracovní části. Rovněž se musí počítat se složitým napětím, vyvolávajícím zpevnění a porušení materiálu. Jsou to napětí vznikající v důsledku zploštění pracovními tlaky, ke kterým se přičítají smyková napětí vyvolaná třením. Uvedené druhy napětí nejsou konstantní, nýbrž se cyklicky mění. Z těchto důvodů střídavých namáhání dochází ke změně struktury a vlastností pracovní vrstvy.

Počet cyklů, které materiál vydrží bez porušení, závisí na četných faktorech, zejména vzrůstá při vyšší mezi pružnosti a pevnosti kovu a zmenšuje se s konstantní frekvencí cyklů nebo se zvyšujícím napětím. Nepříznivě působí heterogenita struktury kovů, vměsky (tzv. vruby strukturní), hrubší stropy pro obrábění, okujený povrch, vruby technologické, jak vyplývá ze závislosti meze únavy na vrubech [4].

Vrubem se mez únavy výrazně snižuje viz obr.9.



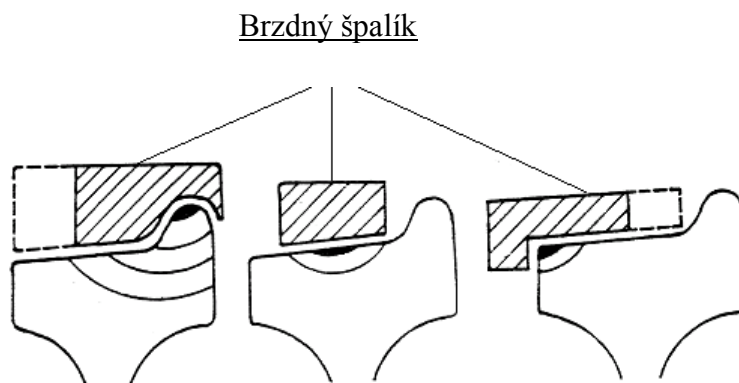
Obr. 9. Vliv jakosti povrchu na mez únavy v závislosti na pevnosti zkoušené oceli
1 – povrch je broušen a leštěn; 2 – povrch je jen broušen; 3 – hrubě opracováno; 4 – ostré vruby po opracování; 5 – únava za koroze

Na nových hladkých pracovních plochách se vrubový účinek neprojevuje. Jakmile se však objeví první praskliny, zvětšuje se vliv vrubového faktoru, namáhání se zhoršuje. Výsledkem je opět prohloubení prasklin a zvětšení jejich počtu.

Rovněž je třeba dále uvážit, že cyklické namáhání pracovní vrstvy probíhá v korozním prostředí, které podstatně snižuje odolnost materiálu vůči únavovému namáhání. Taktéž na opotřebení má velký vliv tepelná únava. Tepelná únava vede k mapování povrchu kovu dvojkolí, které jsou prudce ohřívány a ochlazovány. Prudké brždění u dvojkolí vyvolá teplotu asi 800 °C. rovněž vliv prokluzu kol v obloucích o malých poloměrech vede ke vzniku tepla třením. Připočteme-li k tomu velké měrné tlaky na jednotlivé nápravy, dochází vlivem vývinu vysokých teplot v povrchových vrstvách a následného prudkého ochlazení ke zvýšení tvrdosti samozakalením. Mimo to kov při ohřátí zvětšuje svůj objem a v důsledku spojení této vrstvy s pod povrchovými

chladnějšími vrstvami dochází ke vzniku tlakového namáhání. Postupně, jak se ohřívají a dilatují spodnější vrstvy, tlaková napětí v povrchové vrstvě se snižují a mohou se změnit v napětí tahové. Sklon ke vzniku prasklin v důsledku střídavého tepelného namáhání je tím větší, čím prudší je ohřev a ochlazení, čím má kov větší koeficient tepelné roztažnosti, specifické teplo a čím menší má tepelnou vodivost.

Rozhodující vliv má rozmezí teplot, v němž dochází k cyklickým teplotním změnám. Je zajímavé, že tvrdé oceli odolávají lépe tepelným šokům než oceli měkké, protože vytvářejí praskliny sice četnější, avšak jemnější a méně se prohlubující. Opotřebení se rovněž z části odehrává za spolupůsobení vyšší teploty vyvinuté třením, zvláště při styku kovů (při brždění – obr.4.), kde byly naměřeny teploty 800-900 °C. Opotřebení je spojeno s vytrháváním částic kovů z jeho povrchu, tím se obnažují žhavá místa, která se mohou aktivněji slučovat se vzdušným kyslíkem [3].



Obr.10. Schématické znázornění umístění brzdných špalíků vůči jízdní ploše železničního kola se schématickým označením místa největšího tepelného namáhání jízdní plochy resp. místa výskytu tepelných únavových trhlinek

Požadavky na materiál pracovní vrstvy:

- Vysoká pevnost a tvrdost
- Vynikající houževnatost a plasticita vyrovnávající místní koncentrace napětí
- Homogenita kovů
- Odolnost vůči korozi
- Malá tepelná roztažnost
- Velká tepelná vodivost

Některé z těchto požadavků jsou protichůdné a aby se dosáhlo optimální kombinace, je třeba volit materiály s několika strukturními komponenty. Nositelem tvrdosti a otěruvzdornosti bývají v pracovní vrstvě karbidy, jejichž množství a rozložení významně ovlivňují další vlastnosti.

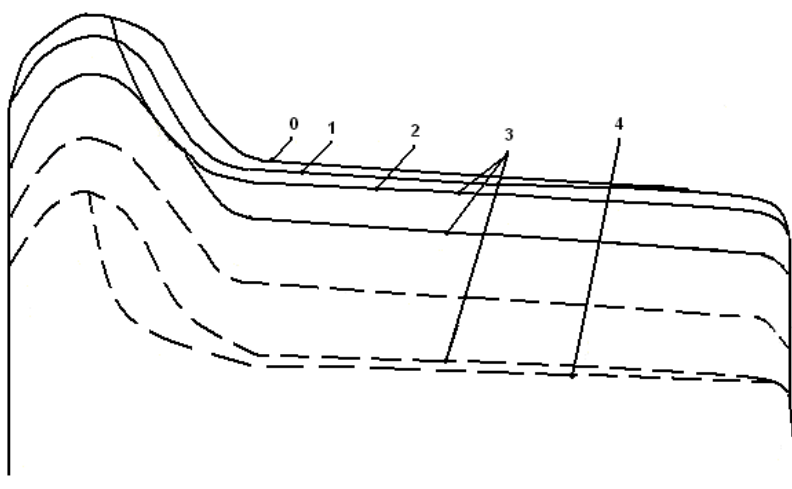
Také požadavky na materiál v jádře a v pracovní vrstvě jsou odlišné. Rozpor mezi požadavky kladenými na pracovní vrstvu a jádro řeší technická praxe různými metodami. Optimálním řešením uvedeného problému je zhotovení pracovní vrstvy z jiného materiálu než je základní materiál, což je možné provést navařením otěruvzdorné vrstvy. Jednou z možných a vhodných metod je automatické navařování pod tavidlem.

4. ŽELEZNIČNÍ DVOJKOLÍ HUTNICKÝCH VOZŮ V ARCELORMITTAL OSTRAVA a.s.

4.1 Rozbor možností obnovy tvaru pracovní části dvojkolí

V kapitole 3 je uvedeno přípustné opotřebení jízdní plochy a okolků a zároveň způsoby měření opotřebení. Při zajištění většího opotřebení než je přípustné, je třeba provést obnovu tvaru pracovní části dvojkolí (obr. 11.), což lze realizovat několika způsoby:

- a) *tvarovým přesoustružením dle šablony*
- b) *navařením opotřeбенé části a přesoustružením dle šablony*
- c) *výměnou obručí za nové*



Obr. 11. Docílitelné úspory materiálu při používání navařování železničních dvojkolí

0 – vysoustružený nový profil; 1 – poprvé opotřebovaný profil; 2 – po předchozím osoustružení a navaření obnovený profil; 3 – bez navařování 1, 2 a 3 soustružením opotřebovaný profil; 4 – po 9-ti až 12-ti navařováních opotřebovaný profil

Dalším způsobem přesoustružení dvojkolí je použití podúrovňového soustruhu, kdy není třeba provést vývaz dvojkolí a opracování proběhne přímo na voze. Je to velmi výkonný způsob opracování. ArcelorMittal Ostrava a.s. jej však nemá k dispozici narozdíl od Vítkovických železáren.

4.2. Svařitelnost železničního dvojkolí hutnických vozů

Svařitelnost - je schopnost materiálu vytvořit za určitých podmínek spoje požadovaných vlastností [6].

Definice svařitelnosti podle ISO:

„Kovový materiál se považuje za svařitelný do určitého stupně při daném způsobu svařování a pro daný účel, lze-li odpovídajícím technologickým postupem svařování dosahovat kovové celistvosti svarových spojů tak, že tyto spoje vyhovují technickým požadavkům, jež se týka jak vlastností samotných spojů, tak i vlivů těchto spojů na konstrukční celek, jehož součástí tyto spoje jsou“.

Svařitelnost oceli závisí na mnoha aspektech:

na vlastnostech materiálu a svarového kovu – chemické složení, mechanické vlastnosti, mikrostruktura, oxidační schopnost, vlastnosti a chování za vysokých teplot, chování při rychlém ohřevu/ochlazování, náchylnost ke vzniku trhlin

na použité metodě svařování a výrobních podmínkách – tavné/tlakové svařování, teplo přivedené do spoje, parametry svařování, čistota svarových ploch, přídavné materiály, poloha svaru, předehřev svaru, způsob kladení housenek

na konstrukci svařence – počet svarů, typy svarů, tloušťka svarů, zbytková napětí, deformace svařence

rozdělení ocelí podle rozsahu zkoušení svařitelnosti

- běžně používané oceli
- vývojové oceli

Svařitelnost se také rozděluje podle použitých technologických procesů (plamenové způsoby svařování, odporové a jiné).

Vliv uhlíku na svařitelnost

Uhlíkové ocele jsou slitiny železa s uhlíkem, manganem, křemíkem, fosforem, sírou, event. mědí. Největší vliv na vlastnosti má uhlík. Čím vyšší obsah uhlíku tím obtížnější svařitelnost. Obsah uhlíku u železničního soukolí je větší než 0,22 %. To je podle ČSN 05 1310 materiál s obtížnou svařitelností. Tento materiál vyžaduje proto před navařováním zvláštní technologické opatření. Nejzávažnější podmínkou úspěšného navaření je dodržení vhodného tepelného režimu před, během a po navaření. Zde je nutné zaměřit pozornost především na ty procesy, které se projeví vzrůstem tvrdosti základního materiálu v přechodové oblasti návaru. Posuzování svařitelnosti se hodnotí v nejjednodušších praktických případech u jednotlivých materiálů podle tvrdosti vyskytujících se v oblasti svarového spoje, tj. v základním materiálu, v tepelně ovlivněné oblasti a ve svaru.

4.3 Způsoby navařování

Pro opravu nebo renovaci dílů svařováním nebo navařováním musí se vycházet ze způsobů namáhání funkčních částí a musí se přihlídnout ke způsobu a příčinám opotřebení. Tyto znalosti jsou pak důležité při dalším rozhodování o způsobu provedení renovace a při vypracování detailního technologického postupu.

Pro realizaci renovace lze použít několik způsobů navařování:

- a) ruční navařování obalenými elektrodami s pomocí netočivých zdrojů např. KM 350, TRT 500
- b) poloautomatické navařování v ochranné atmosféře CO₂ např. s poloautomaty WSP 600
- c) automatické způsoby navařování v ochranné atmosféře CO₂
- d) automatické navařování pod tavidlem pomocí rotačních sklopných a pevných polohovadel

Z praktického hlediska pro navařování dvojkolí hutnických vozů se jeví jako nejvhodnější způsob automatické navařování pod tavidlem (viz. kap. 5.3).

5. NAVRŽENÍ RENOVACE ŽELEZNIČNÍHO DVOJKOLÍ HUTNICKÝCH VOZŮ NAVAŘOVÁNÍM

5.1. Materiály železničních dvojkolí

Železniční dvojkolí hutnických vozů jsou vyráběna z materiálu dle ČSN 41 1701 a ČSN 42 2711. Pro obruče je použit materiál 11 601 a 11 701, pro celistvá kola (monobloky) materiál 11 701 nebo 42 2711. Pro navařování se používají pouze celistvá kola, u železničních dvojkolí hutnických vozů s obručí se provádí pouze výměna obručí (při opotřebení na min. průměr) [7,8].

Norma ČSN 41 1701

Materiál 11 701

MATERIÁL	CHEMICKÉ SLOŽENÍ (%)									
	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Ni	Cu	P	S
ČSN	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.
41 1701	0.65	1.20	0.50	0.30	0.05	0.05	0.30	0.30	0.045	0.045

Způsob výroby ocele: Martinova ukladněná

Provedení: kováno, válcováno za tepla

Nejmenší mez kluzu: $R_e = 343 \text{ Mpa}$ – nežíhaný stav

Pevnost v tahu: $R_m = 686 - 824 \text{ Mpa}$ – nežíhaný stav

Třída odpadu: 001

Barevné označení: fialová – žlutá

Na celistvá kola hutnických vozů se používá i materiál ČSN 42 2711, jde o ocel na odlitky manganovou, otěruvzdornou.

Chemické složení materiálu ČSN 42 2711:

MATERIÁL	CHEMICKÉ SLOŽENÍ (%)					
	C	Mn	Si	P	S	P + S
ČSN	max.	max.	max.			
42 2711	0.65-0.80	1.10-1.60	0.20-0.50	0.045-0.050	0.045-0.050	0.080-0.090

Pevnost v tahu: $R_m = 800$ až 1000 Mpa

Nejnižší tažnost: $A_5 = 4\%$

Tvrdost HB: 235 až 295

Třída odpadu: 002

Svařitelnost podle ČSN 05 1310 – obtížná, doporučuje se předehřev 390 °C.

5.2. Současný stav renovace navařováním železničních dvojkolí hutnických vozů v ArcelorMittal Ostrava a.s.

Navařování železničních dvojkolí hutnických vozů se provádí na německém zařízení **LEW – LRS 2000** (obr. 12.).

Navařování se provádí svařovacím drátem OK autrod 12.10 Ø 2,0 + tavidlo OK FLUX 10.40 (dřívější označení jako F 103), zrnění č.1.

TECHNICKÉ VYSVĚTLENÍ KE STROJI LEW – LRS 2000

Všeobecně:

Účelem tohoto zařízení je, aby pomocí navařování svařovacím obloukem bylo prováděno navařování kolejového věnce lokomotivních kol a tím se stával průřez obručí kola užitečným jako oběžná plocha a to namísto pouhého osoustružení. V dílnách pro údržbu kolejových vozidel je používán tento pracovní postup u velkých oprav pohonného zařízení na opravu kolejových věnců **železničních dvojkolí** již velmi dávno. V posledních 20-ti letech pak je namísto otevřeného svařovacího oblouku dávana přednost svařování „UP“ (pod tavidlem).

U konstrukce stroje byl brán ohled na velký počet a různost stávajících lokomotivních dvojkolí. Především bylo usilováno o to, aby bylo možno provádět údržbu všech přicházejících věnců kol, pokud jejich předpoklady z hlediska svařovací techniky bylo možno považovat za vyřešeny.



Obr. 12. Zařízení LEW – LRS 2000 pro navařování železničních dvojkolí pod tavidlem hutnických vozů v ArcelorMittal Ostrava a.s.

Technické údaje stroje LEW – LRS 2000:

Průměr oběžného kruhu železničního dvojkolí		730...2000 mm
Délka osy železničního dvojkolí		1640...2710 mm
Rozpětí mezi stopami dvojkolí		1435...1524 mm
Rozsah velikosti posuvu	- při 2000 mm průměru	10.50....105 m/h
	- při 780 mm průměru	4.10.....41 m/h
Obvyklý posuv při svařování		12.00.....24 m/h
K tomuto potřebný čas oběhu	- při 780 mm průměru	12.00.....6 min.
	- při 1200 mm průměru	20.00.....10 min.
	- při 2000 mm průměru	32.00.....16 min.

Parametry navařování:

Je svařováno se třemi svařovacími dráty současně, kde je materiál přiváděn pomocí tří nezávislých navařovacích hlav do společné lázně. Při tom jsou dle dokumentace ke stroji [9] podle zvoleného pracovního postupu následující hodnoty:

- = proud, (- pól) na svařovacím drátu
- navařovací proud: 3 x 220 až 250 A
- navařovací napětí: 3 x 28 až 32 V
- vyložení elektrody: 30 mm
- rychlost podávání drátu: 23 m/hod
- rychlost navařování: 23 – 28 m/hod
- počet přídavných drátů: 3
- tvrdost drátu: cca 230 až 250 HV

5.3 Princip navařování pod tavidlem

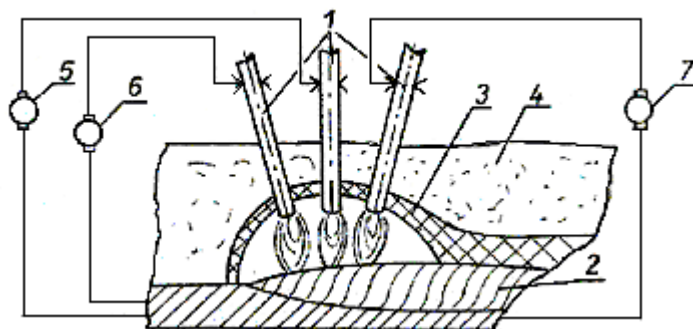
Navařování pod tavidlem (obr. 13,14.) je elektricky obloukový proces, při kterém elektrický oblouk hoří pod vrstvou tavidla, přičemž se roztavený přídavný materiál nanáší na základní materiál a vytváří návar. Tato metoda byla vyvinuta za účelem zvýšení množství odtavovaného svarového kovu [10].

Způsoby navařování:

- Navařování nezávislým obloukem hořícím mezi dvěma elektrodami (do základního materiálu se nepřivádí svařovací proud).
- Navařování trojfázovým obloukem, kde hloubka závaru závisí na vztahu proudu v obloucích, které hoří mezi elektrodami a základním materiálem.
- Navařování kombinovaným obloukem, kde napájení oblouku mezi elektrodami a základním materiálem se uskutečňuje stejnosměrným proudem a mezi elektrodami navzájem střídavým proudem.
- Navařování s podáváním přídavného drátu do oblouku svařovacího proudu.
- Navařování s více přídavnými dráty vedle sebe (v rozestupu 4 až 6 mm).
- Navařování pásovou elektrodou.



Obr. 13. Navařovací dráty používané v ArcelorMittal Ostrava a.s.

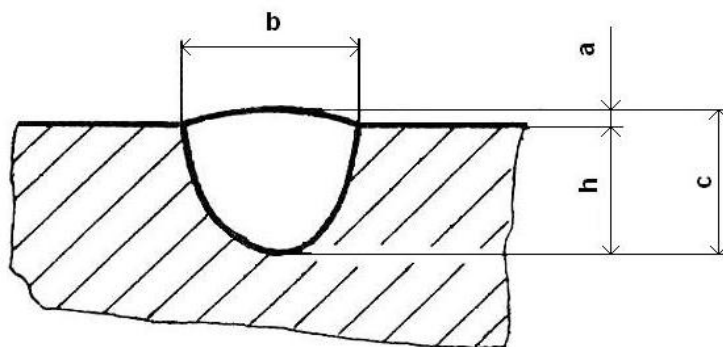


Obr. 14. Způsob navařování používaný v ArcelorMittal Ostrava a.s.

1 – svařovací dráty samostatně elektricky napájené; 2 – kovová lázeň; 3 - struska; 4 - tavidlo;
5, 6, 7 – zdroje proudu I, II, III

Při navařování pod tavidlem je třeba navrhnout takový režim, aby bylo zajištěno dobré formování housenky, maximální výkon navařování (kg/h), minimální, ale přitom zaručený závar i při větších vrstvách a minimální převýšení jako přídavek na opracování [11].

Charakteristické rozměry housenky:



Obr. 15. Charakteristické rozměry housenky

h - hloubka závaru do základního materiálu

a – převýšení

b – šířka housenky

c – celková tloušťka závaru - $c = h + a$

součinitel formy svaru $\psi = b / h$ - závisí na něm do značné míry chemické složení, struktura a mechanické vlastnosti svarového spoje. Hlavní vliv na rozměry a formu

svaru má množství uvolněného tepla v elektrickém oblouku, které je funkcí svářecího proudu, svářecího napětí a rychlosti svařování.

Hlavní parametry svařování:

- svařovací napětí U (V)
- svařovací proud I (A)
- rychlost navařování V_s (m/h)
- průměr svařovacího drátu (mm)
- tvar svarové plochy
- druh tavidla a jeho zrnitost

Vliv svařovacího napětí U (V):

Čím vyšší svařovací napětí tím se prodlužuje oblouk. V oblouku se vytváří teplo které působí na větší plochu základního materiálu a tím se hloubka závaru zmenšuje a šířka housenky zvětšuje.

Vliv svařovacího proudu I (A):

Intenzita svařovacího proudu přímo ovlivňuje množství nataveného kovu. Při tom se zvyšuje dynamický účinek elektrického oblouku a tím vzniká hlubší závar do základního materiálu a zmenšuje se součinitel formy svaru ψ = hloubka závaru je přímo úměrná svařovacímu proudu. Zvětšováním průměru svařovacího drátu při nezměněném svařovacím proudu se zvětšuje šířka svaru a klesá hloubka závaru.

Vliv rychlosti navařování V_s (m/h):

Rychlostí navařování nazýváme postupnou rychlost vytváření svarové housenky. Při konstantním svařovacím napětí a svařovacím proudu se změnou navařovací rychlosti mění množství tepla vyvinuté v elektrickém oblouku připadající na jednotkovou délku svaru. Změna rychlosti svařování působí také na změnu směru elektrického a rozdělení dynamických sil oblouku (jeho vertikální a horizontální složky). Při velmi malé rychlosti navařování (do 10 m/h) elektrický oblouk hoří skoro kolmo, horizontální složka dynamické síly, kterou se nejvíce vytlačuje tekutý kov zpod elektrického oblouku je zanedbatelná, a proto natavení základního materiálu není tak velké. Zvětšováním rychlosti navařování se začíná oblouk naklánět a začínají působit složky dynamické síly oblouku tak, že zvětšují natavení základního materiálu. Dalším zvětšováním rychlosti navařování nestačí vyvinuté teplo natavovat svarové plochy a

zmenšuje se natavení základního materiálu. Zvláště velké navařovací rychlosti mohou mít za následek neprovaření a velmi neklidný proces.

Rychlosti navařování můžeme rozdělit na [10]:

- a) *malé od 5 do 20 m/h*
- b) *střední od 20 do 40 m/h*
- c) *velké od 40 do 60 m/h*

Průměr svařovacího drátu:

Zvětšováním průměru drátu při nezměněném svařovacím proudu se zvětšuje šířka svaru a klesá hloubka závaru.

Vedlejšími parametry jsou: vyložení elektrody, sklon elektrody, sklon základního materiálu, charakter svařovacího proudu a jeho polarita.

Velké vyložení elektrody způsobuje její přehřev a může dojít k ohýbání. Optimální hodnota vyložení je asi 30 mm.

Dráty charakteristika:

- lesklý drát tažený za studena
- obsahuje málo fosforu, pod 0,15%
- sortiment normalizovaných drátů malý vzhledem k nárokům průmyslu, proto se vyrábí i dráty které nejsou normalizovány.

Tavidla charakteristika:

- Chrání roztavený svarový kov proti přístupu vzduchu.
- Zlepšuje ionizaci prostředí, v kterém hoří elektrický oblouk přísadou některých prvků. Tím se vytvářejí dobré podmínky pro klidný svařovací proces.
- Rafinuje svarový kov (zbavuje ho zejména síry).
- Dolegovává svarový kov.
- Formuje vnější vzhled svaru.
- Nedovoluje rychlý odvod tepla z místa svaru.
- Chrání svářeče před zářením, které vzniká v elektrickém oblouku.

Nevýhodou svařování pod tavidlem je, že se vyžadují:

- Větší nároky na čistotu základního a přídavného materiálu než u ručního obloukového svařování.
- Větší požadavky na přípravu svařování.
- Není možné přímo pozorovat tavnou kovovou lázeň.

Každé zařízení na navařování pod tavidlem se skládá ze tří základních částí:

- vlastní navařovací automat
- řídící skříň
- zdroj svařovacího proudu

6. TECHNOLOGICKÝ POSTUP RENOVACE

Základní materiál

Pro experimentální část byla použita celistvá kola železničních dvojkolí hutnických vozů vyrobená z materiálu ČSN 41 1701. Chemické složení materiálu a další parametry viz. kap. 5.1.

Přídavné materiály

Přídavné materiály, přídavné dráty a tavidla se volí tak, aby jejich končné složení a mechanické hodnoty svarového kovu co nejvíce přibližovaly vlastnostem a hodnotám základního materiálu. Tyto přídavné materiály použité při navařování ovlivňují rozhodujícím způsobem vlastnosti svarového kovu. Dráty a tavidla můžeme vzájemně kombinovat, aby se docílilo požadovaného chemického složení svarového kovu.

Tavidla:

Tavidlo ovlivňuje chemické složení svarového kovu tak, jak se zúčastňuje na metalurgických procesech při svařování. Tavidlo chrání roztavený kov proti přístupu vzduchu, dolegovává svarový kov, zlepšuje ionizační prostředí, formuje vnější vzhled svaru, rafinuje svarový kov (zbavuje ho síry), brání rychlému odvodu tepla a chrání svářeče před zářením. Má také vliv na formu návaru, hladkost povrchu, to je důležité u dynamicky namáhaných konstrukcí.

Navařovací dráty:

Na chemické složení návarového kovu, tedy na jeho vlastnosti, má podstatný vliv druh použitého navařovacího drátu. U navařování pod tavidlem se používají elektrody ve formě drátu, taženého za studena s lesklým povrchem, který se povláká tenkou vrstvičkou mědi, aby se zabránilo korozi drátu při dopravě a uskladnění. Někdy se na navařování používají elektrody ve formě pásky nebo trubičkové elektrody, které jsou vytvořené ze svinutého pláště z měkkého materiálu a uvnitř je prášková náplň.

6.1. Stanovení teploty přehřevu

Studené trhliny, vodíkem indukované nebo opožděné trhliny jsou defekty, které vznikají po ukončení svařování, anebo po nanesení jednotlivých vrstev svarového kovu, když teplota oblasti svarového spoje klesne pod 200 °C až 250 °C. Tyto trhliny se mohou vyskytovat v tepelně ovlivněné oblasti i ve svarovém kovu. Trhliny mohou být podélné nebo příčné, vycházející z kořene svaru anebo z přechodu svarové housenky. Trhliny studeného charakteru nemusí vycházet na povrch svarků, ale mohou tvořit uzavřené úseky menšího rozměru. V takových případech je jejich identifikace těžká, jelikož penetrační defektoskopické metody jsou pro tento druh defektu málo citlivé. Na kontrolu jejich výskytu je proto vhodné použít magnetickou práškovou metodu, popř. ultrazvukovou metodu [13].

Příčina vzniku studených trhlín:

- přítomnost uhlíku ve svarovém spoji
- přítomnost struktury citlivé na účinek vodíku
- přítomnost tahových zbytkových napětí

Jedním z hlavních činitelů působících na vznik studených trhlín je vodík. Vodík se do svarového kovu dostává z obalové hmoty elektrod, tavidla, vlhkosti okolního prostředí, z nečistých plynů ochranné atmosféry anebo z nedostatečně očištěných drátů a svarových hran. Abychom snížili nebezpečí převodíkování svarového kovu, je třeba elektrody nebo tavidla před svařováním sušit při teplotě 300 °C až 350 °C několik hodin. Zdrojem vodíku může být i navařovací drát, který se při výrobě (tažení) moří v kyselině chlorovodíkové. Při navařování za studena, tj. bez aplikace přehřevu anebo dohřevu, se účinkem difúzního vodíku zvyšuje koncentrace vodíku v tepelně ovlivněné oblasti ještě několik dní po svaření. Tepelný režim, zejména použití dohřevu po navařování působí velmi příznivě na únik vodíku.

<i>SVAŘOVÁNÍ POD TAVIDLEM</i>	<i>OBSAH VODÍKU(ml/100g)</i>
čistý drát a sušené tavidlo	5 - 10
nečistý drát a nesušené tavidlo	10 - 25

Uhlíkový ekvivalent C_{ekv}

Vyjadřuje vliv chemického složení ocelí na její svařitelnost. Také vyjadřuje příspěvek legujících prvků ke kalitelnosti oceli, čím se ocel snadněji zakalí, tím se hůře svařuje. Významnou úlohu ve všech používaných formách (vyjádřených) C_{ekv} má obsah uhlíku v oceli. Čím vyšší C_{ekv} tím hůře se materiál svařuje.

Některé možné výpočty uhlíkového ekvivalentu C_{ekv} :

$$C_{ekv} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (\%) - \text{IIW} \quad (1)$$

$$C_{ekv} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} \quad (\%) - \text{japonský} \quad (2)$$

kde C_{ekv} je uhlíkový ekvivalent a následující jsou chemické prvky: C – uhlík, Mn – mangan, Si – křemík, Cr – chrom, Mo – molybden, V – vanad, Ni – nikl, Cu – měď, P – fosfor, S – síra

Když je uhlíkový ekvivalent materiálu vyšší než $C_{ekv} = 0.40 - 0.45$, je nutné považovat tento materiál za náchylný na vznik studených trhlin při svařování. (Velká část ocelí, zejména vyšších pevností, je při svařování náchylná na vznik studených trhlin).

Jejich vzniku zabráníme [13]:

- snížením celkové tuhosti svařovaného uzlu nebo konstrukce (vyžaduje zásah do konstrukce a je těžko realizovatelná)
- snížením obsahu difúzního vodíku (kontrolou a výběrem optimální technologie)
- použitím takové technologie, anebo parametrů navařování, které vylučují zkřehnutí v oblasti svarového spoje a umožňují lepší difúzi vodíku ze svarového spoje
- *předehřev*

Předeřev:

Jeden ze základních technologických opatření pro snížení rizika vzniku studených trhlin.

Předeřev svarových spoju:

- snižuje rychlost ochlazování svarů a tím zakalení TOO svarového spoje a svarového kovu
- umožňuje vznik struktur příznivějších z hlediska difuze vodíku
- prodlužuje čas, po který může vodík difundovat ze svarového spoje
- přispívá ke snížení zbytkových napětí vyvolaných svařováním

Výpočet teploty předeřevu dle Sfériána [12]:

$$T_p(^{\circ}\text{C}) = 350 \sqrt{(C) - 0.25} \quad (3)$$

kde C je celkový ekvivalent uhlíku, který je součtem ekvivalentu uhlíku $(C)_C$ a ekvivalentu uhlíku $(C)_S$, závislého do rozměrů plechu, tedy:

$$(C) = (C)_C + (C)_S \quad (4)$$

Chemický ekvivalent uhlíku $(C)_S$ se počítá z rovnice:

$$360 (C)_C = 360 C + 40 (Mn + Cr) + 20 Ni + 28 Mo \quad (5)$$

Ekvivalent uhlíku, závislý na tloušťce plechu „ s “ v mm , můžeme vypočítat z rovnice:

$$\begin{aligned} (C)_S &= 0.005 s \cdot (C)_C \\ (C) &= (C)_C (1 + 0.005 s) \end{aligned} \quad (6)$$

Výpočet přehřevu pro materiál ČSN 41 1701:

$s = 63$ mm pro železniční dvojkolí $\varnothing 1000$ mm

$$(C) = (C)_C + (C)_S$$

$$360(C)_C = 360 \cdot C + 40 (Mn + Cr) + 20 Ni + 28 Mo$$

$$360(C)_C = 360 \cdot 0.65 + 40 (1.20 + 0.30) + 20 \cdot 0.30 + 28 \cdot 0.05 = 301.4$$

$$(C)_C = 0.835$$

$$(C)_S = 0.005 \cdot s \cdot (C)_C$$

$$(C)_S = 0.005 \cdot 63 \cdot 0.835 = 0.263$$

$$(C) = (C)_C + (C)_S$$

$$(C) = 0.835 + 0.263 = \underline{1.098}$$

$$T_p \text{ (}^\circ\text{C)} = 350 \sqrt{(C) - 0.25}$$

$$T_p \text{ (}^\circ\text{C)} = 350 \sqrt{1.098 - 0.25} = \underline{322 \text{ }^\circ\text{C}}$$

Jelikož výpočet teploty přehřevu podle této metody je určen pro svařování plechu, je třeba tento výsledek brát jako informativní. Vypočtená teplota přehřevu je tedy $322 \text{ }^\circ\text{C}$. V podniku ArcelorMittal a.s., z jehož možností a praxe vychází tato práce se používá přehřev $150 - 300^\circ\text{C}$ dle základního materiálu dvojkolí.

Z hlediska možností vydifundování vodíku z oblasti svarového spoje má velký význam i dohřev svarku. Dohřev s použitými teplotami $100 \text{ }^\circ\text{C}$ až $200 \text{ }^\circ\text{C}$ zmírní zejména rychlost ochlazování tepelně ovlivněné oblasti (TOO) při teplotách pod $300 \text{ }^\circ\text{C}$. Při vysoko pevných konstrukčních ocelích je často řešením dohřev 30 až 60 minut při $100 \text{ }^\circ\text{C}$ až $150 \text{ }^\circ\text{C}$. V případě svařování oceli větších tloušťek (40 mm a více) dohřev aplikujeme i několik hodin (3 až 5 hod.). Při svařování ocelí velkých tloušťek (např. 300 mm) můžeme svařování vícekrát přerušit a aplikovat dohřev.

6.2. Výpočet náchylnosti oceli k horkým trhlinám

Teplé trhliny vznikají jak ve svarovém kovu, tak v TOO, při ochlazování svarových spojů za vysokých teplot [5].

Můžeme je rozdělit na:

- *Krystalizační* – vznikají ve svarovém kovu v průběhu tuhnutí (krystalizace)
- *Likvační* – vznikají ve vysoce ohřátém podhousenkovém pásmu základního materiálu, nebo ve svarovém kovu při několikavrstvém svařování.
- *Polygonizační* – u vysokolegovaných austenitických ocelí a slitin niklu.

Náchylnost svarového spoje v tepelně ovlivněné oblasti k trhlinám za horka lze informativně určit parametrickými rovnicemi pro parametr H.C.S.

$$H.S.C. = \frac{C(S + P + \frac{Si}{25} + \frac{Ni}{100})10^3}{3Mn + Cr + Mo + V} \quad (7)$$

Pokud je $H.C.S. > 4$ ocel je náchylná ke vzniku trhlín

Opatření pro zamezení vzniku horkých trhlín:

- snížení měrného příkonu svařování
- používat přídatné materiály vysoké čistoty
- omezit deformace a napětí použitím vhodných technik svařování, tvaru svarového spoje, předehřevu
- nepoužívat housenky s vysokým tvarovým koeficientem svaru a malým průřezem, zejména v kořenové oblasti

Zpevnění povrchu jízdní plochy **válečkováním** nemá žádné teoretické opodstatnění ke zlepšení odolnosti materiálu proti opotřebení. Povrch kola se více zpevní v provozu.

6.3. Přídavné materiály používané v ArcelorMittal Ostrava a.s.

V současné době se ve firmě ArcelorMittal Ostrava a.s. nejčastěji navařuje železniční dvojkolí pomocí svařovacího drátu - **OK autrod 12.10 Ø 2,0 + tavidlo OK FLUX 10.40 (dřívější označení jako F 103), zrnění č.1.** Pro navařování dvojkolí Ø 1000 mm platí parametry dle dokumentace ke stroji LEW – LRS 2000 (viz. kap. 5.2.).



OK FLUX 10.40

EN 760: SF MS 1 88 AC

Použití:

Kyselé tavené tavidlo mangan-silikátového typu skloviného charakteru určené pro jedno i vícevrstvé svařování tupých spojů běžných ocelí a ocelí střední pevnosti, např. obyčejných konstrukčních ocelí, ocelí pro tlakové nádoby a ocelí pro stavbu lodí s nižšími požadavky na hodnotu vrubové houževnatosti za nízkých teplot. Je vhodné pro jedno i dvoudrátovou technologii a dovoluje vysoké proudové zatížení při svařování střídavým i stejnosměrným proudem. Nejčastěji se používá v kombinaci s dráty OK Autrod 12.10, 12.20, 12.24 a 12.30.

Klasifikace, certifikace:

CE EN 13479
DB 51.039.01
Jiné: Sepros

Orientační spotřeba tavidla (580 A, 33 m/h, Ø 4 mm):

Napětí (V)	26	30	34	38
Spotřeba tavidla DC+ (kg/kg drátu)	1,0	1,3	1,7	1,9
AC	0,9	1,2	1,7	1,8

Typ:

Kyselé, tavené
(CaO+MgO)+MnO
+Al₂O₃+(SiO₂+TiO₂)

Bazicitá:

B ~ 0,75

Vlhkost:

< 0,05% / 1000°C

Sypná hmotnost:

1,5 kg/dm³

Zrno:

0,2 - 1,6 mm (10 x 65 mesh)

Teplota přesušení:

200°C ± 50°C/2-4h

Max. proudová zátěž:

až 1500 A pro jeden drát

Doporučené napětí:

~ [= (+)]

26 - 40 V

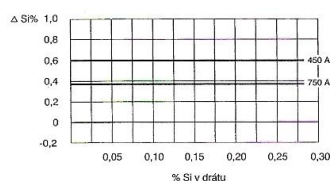
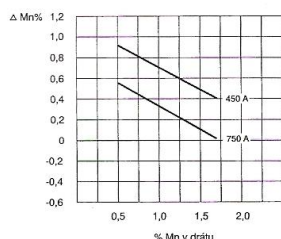
Svařovací proud:

Doporučené svařovací parametry pro vícevrstvé svařování:

Ø drátu (mm)	Proud (A)	Napětí (V)		Rychlost (m/h)
		DC+	AC	
2,5	300 - 400	26 - 30	28 - 32	20 - 30
3,0	400 - 500	28 - 32	28 - 32	20 - 35
4,0	500 - 600	29 - 34	29 - 34	22 - 40

Metalurgické vlastnosti tavidla:

Propal nebo dolegování Mn a Si v závislosti na svař. proudu (DC+, 30V, 60cm/min., Ø 4,0 mm)



Typické chemické složení svarového kovu při použití s drátem OK Autrod xx.xx a jeho klasifikace:

OK 10.40+	C	Si	Mn	Mo	EN 756	SFA/AWS A 5.17 (A5.23)
OK 12.10	0,05	0,6	1,2		S 35 0 MS S1	F6A0-EL12, F6P0-EL12
OK 12.20	0,05	0,6	1,5		S 38 0 MS S2	F6A0-EM12, F6P0-EM12
OK 12.30	0,04	0,6	1,8		S 38 A MS S3	-
OK 12.24	0,05	0,6	1,5	0,5	S 42 A MS S2Mo	(F7AZ-EA2-A4, F7PZ-EA2-A4)

Obr. 16. Charakteristika tavidla OK FLUX 10.40 (dřívější označení jako F 103) používaného v ArcelorMittal Ostrava a.s.



OK AUTROD 12.10

SFA/AWS A 5.17: EL 12
EN 756: S 1

Použití:

Poměděný drát pro svařování především nelegovaných konstrukčních ocelí do pevnosti cca 480 MPa pod tavídem. Nahrazuje původní typ A 102. Je určen pro kombinaci s tavidly F 102, F 104, F 106, OK Flux 10.40, 10.45, 10.61, 10.71, 10.81, 10.88 a 10.96.

Klasifikace, certifikace drátu:

CE EN 13479
DB 52.039.01
Jiné: Sepros

Typické chemické složení drátu (%):

C	Si	Mn
0,08	0,02	0,50

Typické chemické složení čistého svarového kovu a jeho mechanické vlastnosti v kombinaci s tavídky (DC+):

OK 12.10+	C	Si	Mn	Cr	R _m MPa	R _{eL} MPa	A ₅ %	KV (J)/°C			
								+20	0	-20	-40
F 102	0,04	0,60	1,20		480	380	30	120	80	64	
F 104	0,04	0,60	1,50		500	400	26	60			
F 106	0,04	0,60	1,20		500	420	26	80	60		
OK 10.40	0,05	0,60	1,20		460	370	27	80	65	45	
OK 10.61	<0,07	<0,15	<0,50		445	355	26	180		100	
OK 10.71	0,04	0,30	1,00		465	370	30		125	90	65
OK 10.81	0,06	0,80	1,20		540	450	25	50	30		
OK 10.88	0,05	0,60	1,50		480	410	30		50		
OK 10.96	0,08	1,40	1,10	3,50				tvrdost : 30 - 35 HRC			

Klasifikace/certifikace kombinace OK Autrod 12.10 + tavídko:

OK 10.40 Ů, DB, Sepros, UDT, TÜV
OK 10.61 Ů, DB, UDT, TÜV
OK 10.71 ABS, DNV, GL, LR, BV, Ů, DB, UDT, Sepros, TÜV
OK 10.81 Ů, DB, UDT, Sepros, TÜV
Podrobnosti jsou u příslušných tavídel v kapitole J.

Balení:

průměr (mm)	cívka	hmotnost (kg)
1,6	76-0	15
2,0	76-0	15
2,5	76-0	15
3,0	28-0	30
4,0	28-0	30
5,0	28-0	30

Obr. 17. Charakteristika drátu OK autrod 12.10 používaného v ArcelorMittal Ostrava a.s.

6.4. Technologický postup navařování v ArcelorMittal Ostrava a.s.

Platí pro železniční dvojkolí Ø 1000 mm vyráběné z materiálu ČSN 41 1701.

1. Čistění

Na tryskacím stroji součást otrýskáme a celkově očistíme pro další operace.

2. Kontrola

- a) proměření opotřebení pracovní plochy měrkou
- b) vizuální kontrola defektů
- c) ověření jakosti základního materiálu

3. Soustružník

Hrubovat pojezdovou plochu a nákok pro návar s minimálním úběrem na čistý kov.

4. Předehřev

Je nutný při vyšších pevnostech základního materiálu.

Uložit dvojkolí do polohovadla, rovnoměrně ohřát plochy pro navařování na teplotu 150-300 °C. Teplotu kontrolovat termokřídami, dotykovým teploměrem.

Vybrousit případně drobné trhliny a zavařit ručně elektrickým obloukem elektrodami E-B 124.

5. Sklopení dvojkolí do pracovní polohy

Polohu navařování hlavy a sklon polohovadla nutno nastavit tak, aby se dosáhlo plynulého návaru bez přechodových vrubů a kráterů a tak, aby se housenky správně překrývaly.

6. Navařování

Před započítím navařování kontrolovat teplotu návarové plochy.

123 – Svařování pod tavidlem více drátovými elektrodami. Navařování provede svářeč prokazatelně seznámeny s obsluhou stroje LEW-LRS 2000 a ukouškou Z-E1, D-P9. Navařování nákolku provést 3 dráty současně v tandemu, svařovací drát OK autrod 12.10 Ø 2,0 + tavidlo OK FLUX 10.40 (dřívější označení jako F 103), zrnění č.1, index bazicity - 0.7. Od přídavných materiálů je nutné „Osvědčení o dodávce“ event. „Atest o chemickém složení“ (dle požadavků zákazníka). Drát i tavidlo je certifikováno u výrobce. Parametry navařování viz. kap. 5.2.

Vzdálenost oblouků za sebou nesmí přesahovat 25mm, aby následující oblouk hořel ještě do tekuté strusky. Při navařování se kontroluje utváření housenek, špatné nebo nesprávné utváření housenek se musí upravit seřízením hlav, sklonem dvojkolí nebo upravením parametrů svařování. Tavidla musí být stálý dodatek, aby nenastalo odkrytí oblouku nebo tavné lázně.

Během navařování kontrolovat teplotu (termokřídou, dotykový teploměr), v případě potřeby dohřívat plamenem. První housenky se kladou do výkružku mezi jízdni plochou a okolkem. Další housenky se kladou tak, aby překrývaly vždy housenky předcházející, až se dosáhne dostatečné síly návaru.

Velikost návaru musí být taková, aby po přesoustružení bylo dosaženo okolku předepsaných rozměrů. Použít šablonu s přídavkem 5mm na opracování.

7. Dohřev

V podniku ArcelorMittal Ostrava a.s. se dohřev jako takový nepoužívá, avšak dvojkolí musí být po navařování umístěna v hale **bez průvanu**, tzn. Ne blízko vrat, odkud by mohlo dojít k rychlému ochlazení.

8. Výrobní kontrola

Vizuální kontrola (**VT**), tvar navařeného nákolku, pórovitost návaru, vruby a zápaly. Kontrola magnetická prášková (**MT**), výskyt trhlin, celý návar. Rozměrová kontrola, návar s přídavkem + 5mm na plochu pro opracování. Tvrdost dle požadavku odběratele.

Výsledky zapsat do **Karty Kontrolního Měření**.

9. Soustružník + kontrola

Soustružit hotově pojezdový profil dvojkolí dle šablony včetně zarovnání čel. Dodržet úchyly přesnosti dle platné výkresové dokumentace (viz příloha č.2).

10. Výstupní kontrola

Kontrola úchylek přesnosti dle výkresů dvojkolí.

11. Zámečník

Konzervace dle požadavků zákazníka.

12. Expedice

7. DEFEKTOSKOPICKÉ KONTROLY

Defektoskopie patří mezi nedestruktivní zkoušení materiálu. Vyznačují se rozsáhlou oblastí zkoušení materiálu a výrobku bez jejich porušení. Díky tomu jsou významným členkem péče o jakost a umožňují zjišťování skrytých povrchových vad i vnitřních vad, které porušují celistvost. Defektoskopie je metoda zkoumání defektů v makroskopické struktuře materiálu.

Výsledky nedestruktivních zkoušek mají rozhodující význam pro ověřování správnosti technologických postupů výroby, upozorňují na nedostatky a napomáhají k odstaňování příčin výskytu vad. Protože výrobek není porušen během zkoušení, lze tyto metody aplikovat pro ověřování jakosti v kterékoliv fázi výroby. Nedestruktivní zkoušení je dnes již součástí výrobních procesů a v mnoha případech jje podmínkou prodejnosti výrobku [5].

U oprav železničních kolejových vozidel je defektoskopie nezbytnou součástí. Dosahuje se tím optimálního stupně bezpečnosti a bezporuchovosti v provozu. Zkoušený výrobek který je vyhovující je možno dále použít, což má velký ekonomický význam.

Je nutné se zaměřit na odhalování těch poruch, které mohou vznikat za provozu železničních vozidel. Protože zvýšené využívání železničních kolejových vozidel nese s sebou i zvýšené nebezpečí vzniku poruch materiálu, jejich konstrukčních dílů a součástí.

Po navařování železničního dvojkolí je třeba provést:

- rozměrovou kontrolu
- kontrolu tvrdosti povrchu
- kontrolu povrchu návaru na trhliny – defektoskopická kontrola

Přehled defektoskopických metod:

a) pro povrchové vady:

- **vizuální VT**
- **penetrační (kapilární) PT**
- **magnetická prášková MT**
- **vířivé proudy ET**

b) pro vnitřní vady:

- **radiologické (prozařovací) RT**
- **ultrazvukové UT**

Tyto metody dokáží výrobcům, případně provozovatelům daného zařízení, včas odhalit skryté výrobní či provozní vady, a tím předejít dalším nákladům při odstraňování následků možné havárie.

Těmito metodami se kontrolují například:

- svarové spoje, kontrola svarů (stavebnictví, strojírenství, energetika)
- ocelové konstrukce (stavebnictví, telekomunikace)
- lopatky turbín (energetika)
- odlitky a výkovky (automobilový průmysl a strojírenství)
- atd.

7.1. Vizualní metoda

Vizualní kontrola je nejjednodušší nedestruktivní kontrolou, zjišťující zjevné povrchové vady (nepřípustné nerovnoměrnosti převýšení svaru, zápaly, trhliny, studené spoje, vady kořenové oblasti) a ověřuje splnění podmínek stavu povrchu pro další předepsanou nedestruktivní kontrolu ČSN EN 970 [5].

Jedná se o jednoduchou, levnou a přitom velmi účinnou metodu. Principiálně je založena na zjišťování světelného nebo barevného kontrastu v místě inspekce.

Rozdělení vizualní kontroly – podle použitých kontrolních prostředků :

- **přímá**
- **nepřímá**

Přímá vizualní kontrola se provádí pouhým okem nebo pomocí lupy, nepřímá pomocí endoskopů, včetně systémů využívajících miniaturních televizních kamer s příslušnými manipulatory a osvětlením.

- **přímá** – spočívající v pozorování povrchu prostým okem, nebo lupou se zvětšením 3-6x. Je nutné dostatečné denní nebo bílé umělé osvětlení o intenzitě alespoň 500 luxů, úhel pozorování minimálně 30° od roviny kontrolovaného povrchu. Pozorované vady lze měřit běžnými nebo speciálními měřidly k měření rozměrových veličin. Požadavkem je dobrá zraková schopnost pracovníka, ověřená oftalmologem (testem zrakové rozlišitelnosti).
- **nepřímá** – se používá do míst, která nelze pozorovat z důvodu nepřístupnosti zkoušeného místa. Provádí se pomocí optických nebo optoelektronických přístrojů a zařízení, neboli **endoskopy** (trubice se zabudovaným zdrojem světla a zrcadly) - pouze pro směrově přímou kontrolu, a fibroskopy – ohebné endoskopy u nichž je obraz i světlo je vedeno optickými vlákny umožňujícími díky ohebnosti i přístup do zakřivených prostor. Kontrolují se ní nepřístupné povrchy např. vnitřní povrch svarů v trubkách a nátrubcích nebo nádob, které nejsou přístupné z důvodu geometrie. Nebo také z důvodu ohrožení života např. v prostorech které jsou chemicky nebo radioaktivně zamořeny. Nevýhodou

tohoto systému je „rastrování“ obrazu způsobení počtem světlovodných vláken. Nepřímou VT lze provádět i za použití CCD kamer dopravovaných na místo inspekce manipulátory.

Endoskopy jsou:

- pevné (tuhé)
- ohebné (vláknové, fibroskopy)

Pevné endoskopy – optický systém je zabudován v soustavě pevných trubkových nástavců a jejich délku je možno přizpůsobit rozměrům kontolovaného předmětu. Některé typy mají schopnost nástavce spojit v různém sklonu. A také je možné vyměňovat objektivové a osvětlovací nástavce a tím nastavit vhodný směr pozorování.



Obr. 18. Standardní pevné endoskopy

Ohebné endoskopy – optický systém je tvořen svazkem jemných skleněných světlovodivých vláken. Tyto vlákna přenášejí světelné informace z pozorované plochy. Okulárový výstup endoskopu umožňuje přímé pozorování, použití foto a videodokumentačních systémů až po programové vybavení pro počítačové zpracování, vyhodnocení a archivaci dat.



Obr. 19. Ohebný endoskop t319



Obr. 20. Konec sondy - endoskop t319

Vizuální kontrola ale není v současné době dostačující z důvodu požadavků na zjišťování poruch materiálu už v zárodku. Pro tyto zvýšené nároky na citlivost kontroly materiálu se používají speciální zkušební postupy z oblasti defektoskopie.

7.2. Penetrační metoda (kapilární)

Touto metodou se zjišťují pouze vady které jsou na povrchu zkoušené součásti a jsou na povrchu otevřené, aby do nich mohla vniknout detekční kapalina. Jako například povrchové trhliny svarových spojů, zápalů, pórů a studených spojů.

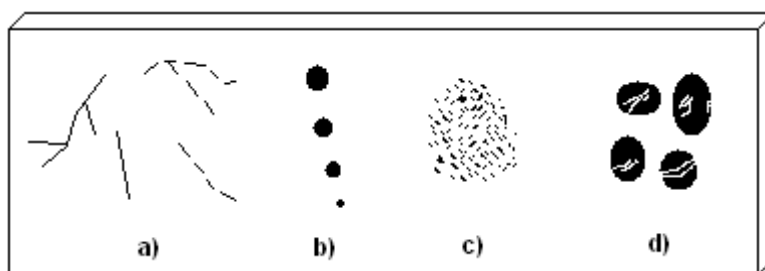
Podstatou penetračních metod je použití vhodné, kapilárně aktivní kapaliny, která pronikne do necelistvosti (vady). Po odstranění jejího přebytku s povrchu zkoušeného předmětu vzlíná kapalina z necelistvosti vlivem kapilárních sil do nanesené vývojky, takže se necelistvost zviditelní [5].

Přehled penetračních prostředků:

- **Penetranty** – detekční kapalina
- **Vývojky** – činidlo, nanáší se na zkoušený povrch po odsranění přebytečného penetrantu. Základem tohoto činidla je bílý prášek např. oxid zinečnatý, který je buď použit v suchém stavu, nebo suspendován v rozpouštědle jako je např. aceton.
- **Odmašťovače** – činidla, pomocí kterých se odmašťuje zkoušený povrch od mastnot. Používají se organická rozpouštědla jako je benzin.
- **Čističe** – kapaliny které se používají na odstranění přebytečného penetrantu z povrchu. Používají se organická rozpouštědla kombinovaná s emulgátory.
- **Emulgátory** – účinné látky ke snažšímu odstranění přebytku penetrantu ze zkoušeného povrchu.

Charakteristiky indikací vad u svarů:

- a) Souvislé liniové – praskliny, trhliny, studené spoje, zápaly
- b) Okrouhlé – otevřené plynové dutiny, kráterové trhliny
- c) Tečkované – porezita
- d) Difuzní – bez ostrého ohraničení. Nedostatečné odstranění penetrantu, zkouška je potřeba opakovat.



Obr. 21. Typy indikací vad u svarů

Penetrační metody:

- Metoda barevné indikace
- Metoda fluorescenční
- Metoda dvouúčelová

Metoda barevné indikace – vada se projeví vznikem kontrastní barevné indikace, většinou červeně na bílém podkladě. Vyhodnocuje se na denním světle, nebo bílém umělém světle.

Metoda fluorescenční – díky černému světlu (filtrované UV záření, vlnová délka 320-400nm) vidíme vadu jako světélkující indikaci.

Metoda dvouúčelová – penetrant obsahuje fluorescenční látku luminoform, která je zároveň barvivem. Tato metoda se může použít jako fluorescenční nebo jako barevná.

Postup zkoušení navařovaného soukolí pomocí kapilární metody:

Provede se po skončení navařování a to v 100% rozsahu.

Provede se příprava povrchu – mechanické očištění, odmaštění, osušení. Dále se na povrch součásti se vhodným způsobem aplikuje tekutý penetrant (nátěr, nástřík, ponor), který vnikne do povrchových necelistvostí. Přebytek penetrantu se pak z povrchu odstraní a na povrch se nanese práškovitá bílá kontrastní látka napomáhající vztlínání detekční kapaliny z necelistvostí. Vyhodnocení se provádí v bílém nebo ultrafialovém světle, a to nadvakrát - nejprve jsou zviditelněny velké vady, později vady drobnější.

7.3 Metoda magnetická prášková

ČSN EN 1290

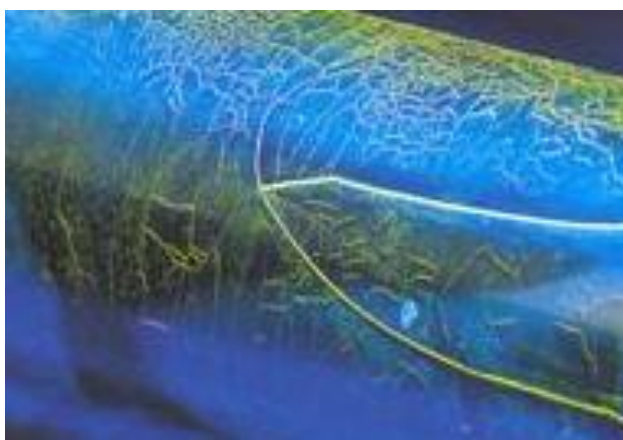
Tato metoda slouží ke zjišťování povrchových necelistvostí. Navíc umožňuje zjistit i necelistvosti, ležící těsně pod povrchem, tedy s povrchem přímo nespojené. Neklade takové nároky na přípravu zkoušeného povrchu a jeho čistotu jako metoda penetrační (využívá vztlínivosti kapaliny), necelistvosti mohou být i vyplněny nemagnetickým materiálem. Určitým omezením je, že touto metodou lze vyzkoušet pouze materiály feromagnetické (magnetické), tedy oceli obvyklé jakosti. Nehodí se pro zkoušení materiálů paramagnetických, jako jsou vysokolegované oceli a neferomagnetické kovy a jejich slitiny (hliník, měď apod.) [1].

Zjišťují se touto metodou trhliny o šířce 0,001 mm a hloubce 0,01 mm a více.

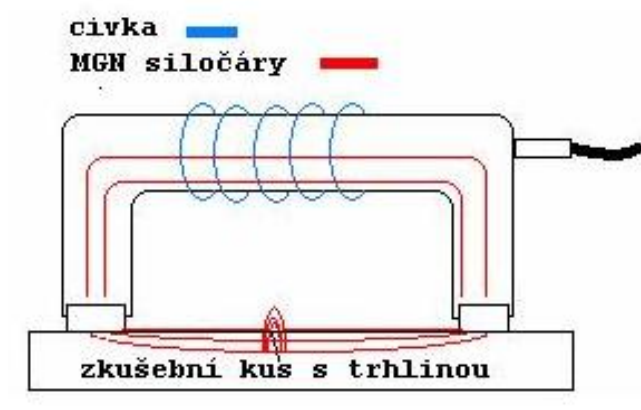
Princip metody:

Princip metody spočívá ve změně toku magnetických siločar v místě defektu materiálu a zviditelnění těchto vad za pomoci feromagnetických částic. Možnost využití různých stupňů citlivosti v závislosti na použití typu zkušební média – na nejcitlivější

aplikace se využívá fluorescenčních detekčních prostředků, nevýhodou je však požadavek na nízkou hodnotu okolního bílého světla (denní světlo). K zviditelnění indikací slouží fluorescenční lampy o vlnové délce 365nm. Jako nepraktičtější montážní použití při této zkoušce je však aplikace barevného prášku na kontrastní barvu nanesenou na zkušební místa. Z metod magnetizace se nejběžněji používá magnetické jho (magnetismus prochází přes póly přístroje), nebo příložné elektrody, kdy magnetismus vzniká průchodem proudu součástí. Nevýhodou příložných elektrod je možnost opalu součásti v místě doteku elektrody a následná náchylnost ke tvorbě trhlin.



Obr. 22. MT zkouška – fluorescenční



Obr. 23. MT zkouška – barevná – bílá – černá – MGN jho

Postup zkoušky pomocí MT:

- úprava povrchu – povrch zbavit rzi, okují, rozstříku svarového kovu, ostrých ryh a konzervačních tuků
- magnetování předmětu – způsoby:
 - pólové (podélné)
 - proudové (příčné, cirkulární)
 - kombinované
 - impulsní
- detekce rozptylového pole (necelistvosti) – nanášením detekčního prášku se zjišťuje přítomnost vady během magnetování
- vyhodnocení – indikace případných necelistvostí se hodnotí vizuálně
- odmagnetování - při MT zkoušce dochází k zmagnetování zkušebních míst, lze řešit demagnetizací.

7.4 Ostatní metody

Metoda vířivých proudů - působením vnějšího elektromagnetického pole se ve zkoušeném výrobku indukují vířivé proudy, jejichž rozložení a intenzita jsou závislé na parametrech zkoušeného materiálu a přítomnosti vad. Zkušební systémy se dělí na průchozí (materiál prochází dutinou cívky) a příložné (cívka se přikládá na jeho povrch).

Radiografické zkoušení - zkoušený materiál je prozařován rentgenovým nebo gama zářením. Podle způsobu detekce vad se prozařování dělí na radioskopii, která jako detektoru používá fluorescenční stínítko, popř. televizní přenos, nebo radiografii, využívající záznamu na rentgenový film.

Zkoušení ultrazvukem - nejčastěji se využívá impulzní odrazová metoda, při níž se používá jedna sonda ve funkci vysílače i přijímače ultrazvukových vln. Vada, která se vyskytuje v dráze ultrazvukových vln, část energie odrazí a vrátí zpět. Ze stínítka obrazovky ultrazvukového defektoskopu lze vyčíst polohu a velikost vady.



Obr. 24. Ultrazvukový přístroj



Obr. 25. Ultrazvukové sondy

8. ZÁVĚR

Úkolem této práce bylo navrhnout vhodnou technologii renovace železničních dvojkolí hutních vozů, dále se podrobně zaměřit na defektoskopické kontrolní metody.

V bakalářské práci jsem se zabýval renovací součástí, blíže pak renovací na původní rozměr navařováním. Seznámil jsem se s nejpoužívanější metodou navařování kol – elektrickým obloukem pod tavidlem realizovaného na stroji LEW – LRS 2000 na závodě 3 Výroba a Montáže v ArcelorMittal Ostrava a.s. a také s metodami defektoskopické kontroly.

9. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Kolektiv autorů: Výroba a aplikované inženýrství ve svařování. Zeross, Ostrava, 2000, 213 s.
- [2] Krňák R.: Svařování při opravách a údržbě, SNTL, Praha, 1971, 122 s.
- [3] Mitura K.: Hutnické aktuality – Přehled činitelů vedoucích k poškození jízdní plochy železničních kol, VÚHŽ, Dobrá u Frýdku – Místku, č. 7/1977, 137 s.
- [4] Pluhař J., Korrita J.: Strojírenské materiály, SNTL, Praha, 1977, 562 s.
- [5] Koukal J., Zmydlený T.: Svařování I., Skripta VŠB-TU Ostrava, 2005, 133 s.
- [6] Pluhař J., Korrita J.: Strojírenské materiály, SNTL, Praha, 1977, 562 s.
- [7] ČSN 41 1701 – materiálové listy oceli 11701
- [8] ČSN 42 2711 - materiálové listy (manganová ocel)
- [9] Dokumentace ke stroji LEW - LRS 2000
- [10] Blaškovič P., Koseček M., Verner L.: Zváranie pod tavivom, Alfa, Bratislava, 1978, 444 s.
- [11] Kolektiv autorů: Technologie svařování a zařízení. Zeross, Ostrava, 2001, 395 s.
- [12] Séférián D.: Nauka o kovech ve svařování ocelí, SNTL, Praha, 1962, 422 s.
- [13] Hrivňák I.: Zvariteľnosť ocelí, Alfa, Bratislava, 1979, 235 s.

Internetové stránky:

<http://www.atesta.cz/>

<http://merime.cz/>

Materiály poskytnuté firmou ArcelorMittal Ostrava a.s.

Dokumentace ke stroji LEW - LRS 2000

10. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1	Fotografie č. 1-6
Příloha č.2	Výkres – železniční dvojkolí Ø1000 mm
Příloha č.3	Bakalářská práce v elektronické podobě na CD